



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
ENGENHARIA DE AQUICULTURA
GUILHERME LUIS LENZ

**PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa*) EM SISTEMA AQUAPÔNICO COM
TILÁPIAS (*Oreochromis niloticus*) EM BIOFLOCOS E BAIXA SALINIDADE**

Florianópolis
2016

GUILHERME LUIS LENZ

**PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa*) EM SISTEMA AQUAPÔNICO COM
TILÁPIAS (*Oreochromis niloticus*) EM BIOFLOCOS E BAIXA SALINIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Aquicultura do Departamento de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia de Aquicultura.

Orientadora: Prof.^a Dra. Katt Regina Lapa.

Co-orientador: Prof. Dr. Maurício G. C. Emerenciano

Florianópolis
2016

Guilherme Luis Lenz

**PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa*) EM SISTEMA AQUAPÔNICO COM
TILÁPIAS (*Oreochromis niloticus*) EM BIOFLOCOS E BAIXA SALINIDADE**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Engenheiro de Aquicultura e aprovada a em sua forma final.

Florianópolis, 11 de Julho de 2016.

Prof^a Dr.^a Anita Rademaker Valença.

Coordendora do Curso

Banca Examinadora

Prof.^a, Dr.^a Katt Regina Lapa

Orientadora

Universidade UFSC

Prof., Dr. Maurício Gustavo Coelho Emerenciano

Co-Orientador

Universidade UDESC

Prof., Dr. Walter Seifert Quadros

Universidade UFSC

Ficha catalográfica

LENZ, Guilherme Luis

**PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa*) EM SISTEMA
AQUAPÔNICO COM TILÁPIAS (*Oreochromis niloticus*) EM
BIOFLOCOS E BAIXA SALINIDADE**

Estágio supervisionado II

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE AQUICULTURA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL 54 PÁGINAS
Contém imagens

AGRADECIMENTOS

A natureza que proporciona a vida para todos os seres deste planeta.

Aos meus pais José e Vera pela educação e por me guiar para o caminho do bem
Ao meu irmão Tiago, sua esposa Maria Júlia e filha Maria Eduarda que me trazem muitas
felicidades

A minha irmã Fernanda por repassar imensa tranquilidade de vida.

A todos os demais familiares que são muitos, mas são muito importantes para mim.

Aos meus irmãos em Florianópolis Carlão, Japa e Paulinho e por todos esses anos de
evolução espiritual e conceitual da vida obtidas nesse paraíso. Gratidão eterna a vocês e as
ondas surfadas juntos. Amigos para a vida.

Aos pais do Japa seu Kazuo e Dona Izaura e a vó Dona Maria e aos pais do Paulinho tia Eliete
e seu Ricardo. Obrigado pelo apoio, amizade, experiências de vidas e culturas repassadas e
pelos almoços deliciosos.

Ao meu amigo, professor e co-orientador Maurício por acreditar em meu trabalho,
disponibilizar da infraestrutura laboratorial e pelos conselhos durante o tempo de estágio.

Muito obrigado pela confiança.

A minha amiga, professora e orientadora Katt pelo conhecimento técnico transposto ao longo
dos anos e por não medir esforços na luta pela evolução do curso e da atividade. Meus
sinceros agradecimentos!

Aos meus irmãos de Laguna Jiovani e Emerson e pela troca de conhecimentos realizadas
durante o período de estágio. Agradecimento especial ao Emerson que acompanhou este
trabalho desde o começo e estava sempre disposto a ajudar, sem sua ajuda não teria sido
possível realizar este trabalho. Grato irmão!

A companheira Aline que me trouxe tranquilidade nas horas turbulentas e me revitalizou com
sua energia imensamente pura e cheia de amor. Após esses anos de vida percebo que meras
coincidências não são meras coincidências.

A todo o grupo dos laboratórios ABCN que me ajudaram e apoiaram durante os meses de
estágio.

A todos os meus colegas de faculdade que propiciaram anos de discussão e obtenção de
conhecimento fosse na universidade, praia, casa, mar ou bar. Todo mundo tem algo a oferecer
não importa quem você seja.

A galera do surf e todos os mares perfeitos de Santa Catarina: Osama, Bicio, Pere, Léo, Marcelão, Rauh, Efrayn, Maya, Nati, Passarinho, Cadinho, Tiagão, Nico, Belin, Negão aviador, Pi, Mau. Muitos mares virão!

A todo os professores, servidores e integrantes dos laboratórios da UFSC pelos anos de trabalhos em conjunto e experiência trocada. Espero difundir o conhecimento obtido nessa fase da vida.

Gratidão em especial ao universo por me conceder a vida!

RESUMO

Sistemas de produção aquícolas eco-eficientes como o cultivo em sistemas de bioflocos e a aquaponia reciclam os nutrientes inseridos ao sistema e produzem culturas rentáveis. O objetivo deste experimento foi verificar o efeito da salinidade no desempenho produtivo de diferentes cultivares de alface (*Lactuca sativa*) em um sistema de aquaponia com tecnologia de bioflocos (BFT). O experimento foi realizado no Laboratório de Aquicultura da Universidade do Estado de Santa Catarina (LAQ/UDESC). O sistema de aquaponia localizava-se dentro de uma estufa agrícola (3 x 6 x 3 m) e continha dois sistemas independentes (duas salinidades diferentes 0 ppt e 3 ppt) com os mesmos componentes: tanque circular de cultivo de peixes (500 L), sedimentador 1 (100 L), sedimentador 2 (10 L), biofiltro (60 L), tanque de equalização (100 L), bancada hidropônica com 9 caixas retangulares (1 x 0,5 x 0,3 m). Foram estocados juvenis de tilápia *Oreochromis niloticus* em uma densidade de estocagem inicial de 6,1 kg/m³. Três variedades de alface (*Lactuca sativa*): roxa, lisa e crespa com densidade de cultivo de 20 plantas/m² foram estocadas em bandejas flutuantes de cultivo em PEAD conferindo os seguintes tratamentos em triplicata: (DOCE-ROXA; SAL-ROXA; DOCE-LISA; SAL-LISA; DOCE-CRESPA; SAL-CRESPA). Foi ofertada uma quantidade de ração de 81 g/d estabelecendo uma relação de 1 g por planta ao dia. Para manutenção do sistema de bioflocos foram inseridos 17 g/d de melaço em pó gerando uma relação C:N de 14:1. Parâmetros monitorados diariamente foram a intensidade luminosa, temperatura ambiente, oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH, sólidos sedimentáveis e salinidade. Duas vezes por semana foram monitorados o nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, ortofosfato e alcalinidade; enquanto que os níveis de Fe, Ca e K foram mensurados uma vez na semana. Todos os parâmetros zootécnicos dos peixes não demonstraram diferenças estatísticas, exceto para o IHS (índice hepatossomático) maior em 3 ppt (4,35) contra (3,07) em 0 ppt, possivelmente pelo fato da espécie apresentar condições de iso-osmose em baixa salinidade. As CA da espécie foram de 2,18 (0 ppt) e 2,01 (3 ppt). De maneira geral, a produtividade dos cultivares de alface foi superior em água doce (1,21 kg/m²) em relação à água salobra (0,8 kg/m²). No entanto, o crescimento da variedade roxa em água salobra não demonstrou diferença entre a cultivada em água doce. Na maioria dos parâmetros fitotécnicos avaliados as variedades roxa e crespa foram superiores a variedade lisa. Em relação ao índice de qualidade de plantas (IQP) a variedade roxa apresentou as folhas mais íntegras e coloração mais intensa. É possível integrar a produção de alface roxa em sistemas de aquaponia com tecnologia de bioflocos em baixa salinidade.

Palavras chaves: aquaponia. salobra. alface. BFT.

ABSTRACT

Eco-efficient aquaculture production systems such as bioflocs technology (BFT) and aquaponics recycle nutrients entered the system and produce profitable crops. The objective of this experiment was to evaluate the effect of salinity on growth performance of different lettuce cultivars (*Lactuca sativa*) in an aquaponics system with bioflocos technology (BFT). The experiment was conducted at the Laboratory of Aquaculture at the University of the State of Santa Catarina (LAQ / UDESC). The aquaponics system was located in an agricultural greenhouse (3 x 6 x 3m) and contained two independent systems (two different salinities 0 ppt e 3 ppt) with the same components: circular tank for fish culture (500 L) settler 1 (100 L) settler 2 (10 L), biofilter (60 L) and equalization tank (100 L), hydroponic raft system 9 rectangular boxes (1 x 0.5 x 0.3m). Juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* were stocked in an initial density of 6.1 kg/m³. Three varieties of lettuce (*Lactuca sativa*): red leaf, smooth and crisp with growing density of 20 plants/m² were stored in floating raft system giving the following treatments in triplicate: (FRESH-RED LEAF; SAL-RED LEAF; FRESH-SMOOTH; SAL-SMOOTH; FRESH-CRISP; SAL-CRISP). It was offered an amount of feed of 81 g/d establishing a ratio of 1 g per plant per day. To maintain the concentration of suspended solids 17 g of molasses powder were insert daily, generating a C: N ratio of 14: 1. Parameters monitored daily were light intensity, temperature, dissolved oxygen, water temperature, pH, settleable solids and salinity. Twice a week the ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, orthophosphate and alkalinity were monitored; while the levels of Fe, Ca and K were measured once a week. All fish performance parameters showed no statistical differences except for the IHS (hepatossomatic index), higher in 3 ppt (4,35) against (3,07) in 0 ppt. The specie showed CA of 2,18 (0 ppt) and 2,01 (3 ppt). In general, the productivity of lettuce cultivars were superior in fresh water (1,21 kg/m²) compare to brackish water (0,8 kg/m²). However, the growth of red leaf variety in brackish water showed no difference between the cultivated in fresh water. In most phytotechnical parameters evaluated the purple varieties and crisped were higher than the smooth variety. In relation to plant quality index (IQP) purple variety showed leafs with higher integrity and more intense coloration. It is possible to integrate the production of red leaf variety in aquaponics systems with the technology of bioflocs in low salinity.

Key words: aquaponics. brackish. lettuce. BFT

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de cultivo experimental da Universidade Federal do Rio Grande (Laboratório de Carcinicultura, Instituto de Oceanografia).	13
Figura 2: Sistema de aquaponia demonstrativo LAQ/UDESC: três tipos de sistemas aquapônicos (substrato semi-seco (A); bandejas flutuantes (B); técnica do fluxo laminar (C).	14
Figura 3: Sistema urbano de produção aquapônica em bandejas flutuantes PEDRAVIVA AQUAPONIA	15
Figura 4: Esquematização do funcionamento do sistema aquapônico	20
Figura 5: Temperatura °C e Luminância (lx) ambiente externo e interno durante período experimental	24
Figura 6: Variação das concentrações dos parâmetros de qualidade de água coletados dos sistemas ao longo do período experimental de quatro semanas.	28
Figura 7: Variação das concentrações dos parâmetros de qualidade de água coletados dos sistemas ao longo do período experimental de quatro semanas.	30
Figura 8: Variação das concentrações dos nutrientes Fe, Ca e K nos cultivos em água doce 0 ppt e água salobra 3 ppt durante o período experimental.	32
Figura 9: Índice de Qualidade de planta das 3 variedades de alfaces nos cultivos em água doce 0 ppt e água salobra 3 ppt.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros monitorados diariamente nas caixas das plantas e nos macrocosmos de peixes (0 ppt e 3 ppt) ao longo do cultivo experimental (28 dias).....	26
Tabela 2: Médias \pm desvio padrão de parâmetros fitotécnicos das três variedades de alface (<i>Lactuca sativa</i>) cultivadas em diferentes salinidades em sistema aquaponia.....	30
Tabela 3: Parâmetros zootécnicos <i>Oreochromis niloticus</i> em sistemas de aquaponia em (BFT) comparando água doce 0 ppt e salobra à 3 ppt.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1 Desenho experimental	18
2.2 Plantas.....	21
2.3 Peixes.....	22
2.4 Parâmetros físico-químicos da água	22
2.5 Análise estatística dos peixes e plantas	23
3 RESULTADOS	24
4 DISCUSSÃO	36
4.1 QUALIDADE DE ÁGUA	36
4.2 PEIXES.....	39
4.3 PLANTAS.....	40
5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS.....	43
ANEXO A – Dispositivos do sistema de aquaponia	47
ANEXO B – Crescimento das variedades de alfaces em ambos sistemas durante o período experimental	48
ANEXO C – Crescimento da variedade Roxa em água salobra.....	49
ANEXO D – Crescimento da variedade Roxa em água doce	50
ANEXO E – Crescimento da variedade lisa em água doce.....	51
ANEXO F – Crescimento da variedade Lisa em água salgada.....	52
ANEXO G – Crescimento da variedade Crespa em água doce	53
ANEXO H – Crescimento da variedade Crespa em água salgada	54

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura, que consiste em diversas técnicas utilizadas para produção de organismos aquáticos, é a atividade que mais cresce no mundo entre os setores de produção de alimentos e apresenta um grande potencial para atender à crescente demanda por alimentos de origem aquática (FAO, 2014).

O setor de pescados somando as produções de pesca e aquicultura atinge 181,7 milhões de toneladas no ano de 2012, sendo 90,4 milhões de toneladas provenientes da aquicultura (49,75%). Estima-se que a produção da aquicultura para 2030 seja de 93,61 milhões de toneladas, cerca de 61,68% da produção mundial pesqueira (FAO, 2014). No entanto, esta expansão da produtividade aquícola retrata muitas vezes um desenvolvimento desordenado das técnicas de cultivos. A FAO fomenta o "crescimento azul", que é baseado na gestão sustentável e responsável dos recursos aquáticos. Neste contexto, a segurança alimentar para o consumo humano deveria ser sempre aliado à uma produção de alimentos de maneira sustentável, e que na atualidade é evidenciada por uma crescente demanda e importância a níveis mundiais (BLIDARIU et al., 2011).

Dentre os diferentes ramos da aquicultura, a piscicultura continental é a atividade com maior destaque no Brasil e representa maior parcela da produção aquícola brasileira com aproximadamente 86,6% da produção nacional (MPA, 2011). O Brasil exibe um grande potencial na produção de peixes de água doce e registra uma crescente evolução da atividade nos últimos anos. É um dos segmentos produtivos mais promissores no Brasil, movimentando cerca de R\$ 5 bilhões ao ano e gerando 3,5 milhões de empregos diretos e indiretos (ACEB, 2014). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indicam uma produção total de 392,5 mil toneladas em 2013 (IBGE, 2014). Grande parte da produção provém de sistemas semi-intensivos, que necessitam de uma renovação contínua de água (FERNANDES, 2010).

A conservação de água é uma das tendências em relação as regulamentações ambientais. É previsto um limite mínimo a ser consumido e as condições plausíveis em que o efluente deve ser lançado ao meio ambiente. Um dos principais objetivos é reduzir a emissão de nitratos e ortofosfatos (HAMLIN et al., 2006). Paralelamente, segundo Boyd (2003), existem diversos impactos ambientais provenientes da aquicultura: destruição de sítios naturais, disseminação de doenças, decréscimo de populações naturais de peixes nativos com a introdução de espécies exóticas, poluição dos corpos da água de superfície e subsolo. Percebe-se que a piscicultura de

água doce pode ser considerada como uma atividade poluidora quando seus efluentes são lançados diretamente em corpos d'água sem o devido tratamento prévio. Sendo assim, existe uma necessidade de gestão e manejo ecologicamente corretos dos meios de produção piscícolas (AZIM; LITTLE, 2008).

A expansão da aquicultura sustentável depende do desenvolvimento e aplicações de novas tecnologias que intensifiquem os cultivos, maximizem a utilização de água e nutrientes, além de minimizar os impactos ambientais (HU et al., 2015). O aumento dessa produção com a redução de impactos ambientais, integração entre sistemas de produção e redução do uso do solo e de químicos são alguns dos princípios que a aquicultura precisa seguir (PANTANELLA, 2008). Com o crescimento contínuo da demanda de alimentos e aliada a necessidade de conservação ambiental, nos últimos anos difundiu-se técnicas de cultivo ecoeficientes que visam atender aos três pilares da sustentabilidade: social, ambiental e econômico.

Na aquicultura sistemas de recirculação, em inglês “*recirculating aquaculture system*” (RAS) e a tecnologia de produção em sistema de bioflocos, em inglês conhecido por “*biofloc technology*” (BFT), são alternativas de produção intensiva de baixo impacto ambiental. O BFT é considerado um sistema alternativo eficiente, baseado no crescimento de microrganismos no meio da cultura, com nutrientes sendo continuamente reciclados e reutilizados, sem geração de efluentes (EMERENCIANO et al., 2013). O bioflocos é constituído de uma variedade de microrganismos, restos de ração, fezes e material orgânico mantidos em suspensão na coluna d'água por constante aeração (RAY et al., 2010). O crescimento dos organismos microbianos no sistema é estimulado por uma relação balanceada de carbono e nitrogênio C:N, que promove a manutenção da qualidade de água com a absorção de compostos nitrogenados pela microbiota, complementa a nutrição dos animais cultivados, reduz as taxas de conversão alimentar e aumenta as taxas de crescimento (AZIM; LITTLE, 2008; EMERENCIANO et al., 2011). Com isso segundo Avnimelech (2012), o sistema de produção em bioflocos consegue intensificar a produção da aquicultura sem aumentar significativamente o uso de recursos naturais de água e terra e apresenta um suporte social e econômico, pré-requisitos para uma aquicultura sustentável. Na próxima página está representado (Figura 1) uma unidade experimental da Universidade Federal do Rio Grande (FURG/RS) de um cultivo superintensivo de camarões marinhos (*Litopenaeus vannamei*) com a tecnologia de bioflocos.

Figura 1: Sistema de cultivo experimental da Universidade Federal do Rio Grande (Laboratório de Carcinicultura, Instituto de Oceanografia).



Fonte: <http://www.panoramadaaquicultura.com.br/novosite/?p=1881>

Como outra técnica de produção sustentável, os sistemas de recirculação aquícolas são caracterizados pela reutilização da água, tendo menos de 10% de renovação da quantidade total de água de um sistema por dia (TIMMONS, 2010). São compostos basicamente de tanques de cultivos, filtros mecânicos e biológicos, tanque de equalização e podem incluir ainda mecanismos de tratamento de água que auxiliam no controle de doenças (HUTCHINSON et al., 2004). Os problemas mais comuns de qualidade da água em sistemas de recirculação para aquicultura são: depleção de oxigênio, acúmulo de matéria orgânica e nitrogênio inorgânico, principalmente amônia (JAAP, V.R., 1995). No cultivo de peixes somente uma pequena proporção da ração oferecida (25-30%) é convertida em energia útil (RAKOCY et al., 1993), tradicionalmente estes problemas são reduzidos com renovações da água do sistema (HAMLIN et al., 2004).

Para melhorar o aproveitamento das quantidades de nutrientes inseridos ao sistema produtivo bem como diminuir perdas para o meio externo, existe a possibilidade de integrar sistemas de aquicultura com a produção de plantas, sistema conhecido como aquaponia (DIVER, S., 2006). De acordo com Rakocy *et al.* (2000), sistemas de recirculação de aquicultura são os sistemas de produção mais adequados para integração com hidroponia, pois os nutrientes presentes no ambiente de cultivo conseguem ser mantidos em concentrações que são de requerimento para produção de plantas.

Segundo Lennard e Leonard (2006), existem três tipos de sistemas de produção aquapônicos: substrato semi-seco (“gravel bed” em inglês), calhas hidropônicas com a técnica do fluxo laminar de nutrientes (em inglês *NFT* – “nutriente film technique”) e bandejas flutuantes (em inglês “floating raft”). Abaixo (Figura 2) está representado as três maneiras possíveis de realizar um cultivo em aquaponia.

Figura 2: Sistema de aquaponia demonstrativo LAQ/UDESC: três tipos de sistemas aquapônicos (substrato semi-seco (A); bandejas flutuantes (B); técnica do fluxo laminar (C)).



Fonte: arquivo pessoal

Independente do sistema, para um correto funcionamento deve existir uma relação favorável para o desenvolvimento dos organismos aquáticos, plantas e bactérias. As bactérias transformam o resíduo dos animais em compostos assimiláveis pelas plantas, que necessitam de um fornecimento adequado de luminosidade e oxigenação nas raízes para garantir um desenvolvimento sadio (EMERENCIANO et al., 2015). Além disso, existem muitos fatores que influenciam na correta remoção de nutrientes, crescimento das plantas e qualidade da água em cultivos em aquaponia, tais como a vazão de água pelo sistema (DEDIU et al., 2012; ENDUT et al., 2010), o pH (TYSON et al., 2004; RAKOCY, 2007), o dimensionamento adequado entre quantidades de peixes e plantas (RAKOCY et al., 2011; LENNARD, W., 2012) e o balanço de micro e macro nutrientes (RAKOCY, 2007; SEAWRIGHT et al., 1998).

A produção integrada de alimentos em sistemas aquapônicos é exatamente o rumo que mercado está tomando, onde os novos consumidores exigem a produção de alimentos seguros realizados de uma maneira ambientalmente responsável (GRAHAM, 2003). Na Figura 3 é apresentado um cultivo urbano de aquaponia na cidade de Florianópolis, onde o alimento é produzido próximo ao consumidor final.

Figura 3: Sistema urbano de produção aquapônica em bandejas flutuantes PEDRAVIVA AQUAPONIA



Fonte: PEDRAVIVA AQUAPONIA

Existe a possibilidade de realizar a integração de sistemas de bioflocos com aquaponia. Observado por Pinho (2015), um sistema de aquaponia utilizando a tecnologia de bioflocos (BFT) em comparação a um sistema de aquaponia em água clara (AC) produziu plantas visualmente mais saudáveis e melhorou a produtividade dos peixes e das alfaces. Associar as qualidades favoráveis que os dois sistemas de cultivo eco-eficientes apresentam e integrar o sistema de produção de bioflocos com um sistema de aquaponia pode potencializar a utilização dos insumos inseridos ao sistema, reduzir custos e produzir culturas rentáveis de uma maneira sustentável.

Por conter quantidades de sais, as águas salobras e salinas não apresentam condições para o consumo humano nem mesmo para utilização na agricultura, pois seu uso pode acarretar em distúrbios no ecossistemas com resíduos salinos em terras (AYERS; WESTCOT, 1999). A cultura do alface já demonstrou tolerância a presença de sais e produtividade em soluções de

cultivo hidropônicos porém com menores taxas de crescimento (PAULUS et al., 2010; RESH, 1992; RODRIGUES et al., 2002; SOARES, 2007). Neste contexto o presente estudo foi realizado com o intuito de verificar a possibilidade de utilização de água salobra na produção de peixes e plantas em um sistema de aquaponia com aplicação da tecnologia de bioflocos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver a aquaponia em sistema de bioflocos com tilápia e alface em baixa salinidade.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os parâmetros de qualidade de água em um cultivo aquapônico com diferentes salinidades;
- Quantificar o crescimento dos peixes e plantas nas diferentes salinidades em sistemas de aquaponia com (BFT);

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquicultura (LAQ) do Centro de Educação Superior da Região Sul (CERES), pertencente a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no município de Laguna, Santa Catarina.

O sistema de aquaponia foi construído dentro de uma estufa agrícola (medindo 6 m de comprimento, com 3 m de largura e 3 m de pé direito), toda revestida com filme plástico de 1,50 mm, além de uma cobertura extra utilizando sombrite para redução de 50% da intensidade luminosa.

2.1 Desenho experimental

O dispositivo experimental aquapônico foi composto de dois sistemas de aquaponia em tecnologia de bioflocos (BFT) comparando água salobra com água doce. Foram utilizados os mesmos dispositivos e equipamentos para ambos tratamentos. Assim, cada sistema experimental continha: um tanque circular para cultivo dos peixes (500 L), denominado macrocosmo, dois sedimentadores para separação física dos sólidos por gravidade (100 L e 10 L, instalados em série), um biofiltro construído com caixa plástica de 60 L (medindo 0,7 m de comprimento, com 0,4 m de largura e 0,3 m de altura) um tanque circular de reservatório (150 L) e nove caixas retangulares utilizadas para formar a bancada hidropônica (medindo 1,0 m de comprimento, com 0,5 m de largura e 0,3 m de profundidade)

A aeração em cada macrocosmo foi fornecida via um círculo de 30 cm de diâmetro de mangueira microperfurada (tipo “Aero-Tube”), localizado centralmente no fundo do tanque, conectada ao soprador de ar central (2cv). Foram utilizados termostatos nos tanques dos peixes com o intuito de aquecer e estabilizar a água dos sistemas. O fluxo da água no sistema era por gravidade do tanque de cultivo para o primeiro dispositivo de tratamento de água, sedimentador 100 L, utilizando taxa de aplicação superficial (TAS) de $1,82 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ e tubulação de PVC com ϕ 50 mm. Em seguida passava para o segundo sedimentador com TAS de $6,25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ e tubulação de PVC ϕ 32 mm, com uma tela (sombrite) em seu interior para reter sólidos suspensos que por ventura ainda não tinham sedimentado.

Nesta primeira etapa ocorria o depósito de sólidos sedimentáveis (SSed) no fundo dos sedimentadores, chamado de lodo. Estes eram removidos três vezes ao dia com o auxílio de uma flange (25 mm) localizada no fundo dos sedimentadores, seguida por uma tubulação e

registro. No primeiro sedimentador havia também um sistema de “air lift” com uma tubulação PVC de ϕ 20 mm, que devolvia constantemente os sólidos para o tanque de cultivo dos peixes afim de manter a concentração de sólidos suspensos totais.

Na sequência, a água passava por um filtro mecânico do tipo “bag” (para reter os sólidos suspensos que por ventura se desprendessem do sedimentador), e depois fluía para o biofiltro através de tubulação de PVC com ϕ 32 mm.

A limpeza do “bag” era feita duas vezes ao dia, juntamente com a tela instalada no segundo sedimentador, durante todo o período experimental. Foi necessário realizar o sifonamento do fundo das bancadas hidropônicas no décimo quarto dia para remoção dos sólidos sedimentáveis. Esses sólidos também foram devolvidos ao tanque de cultivo.

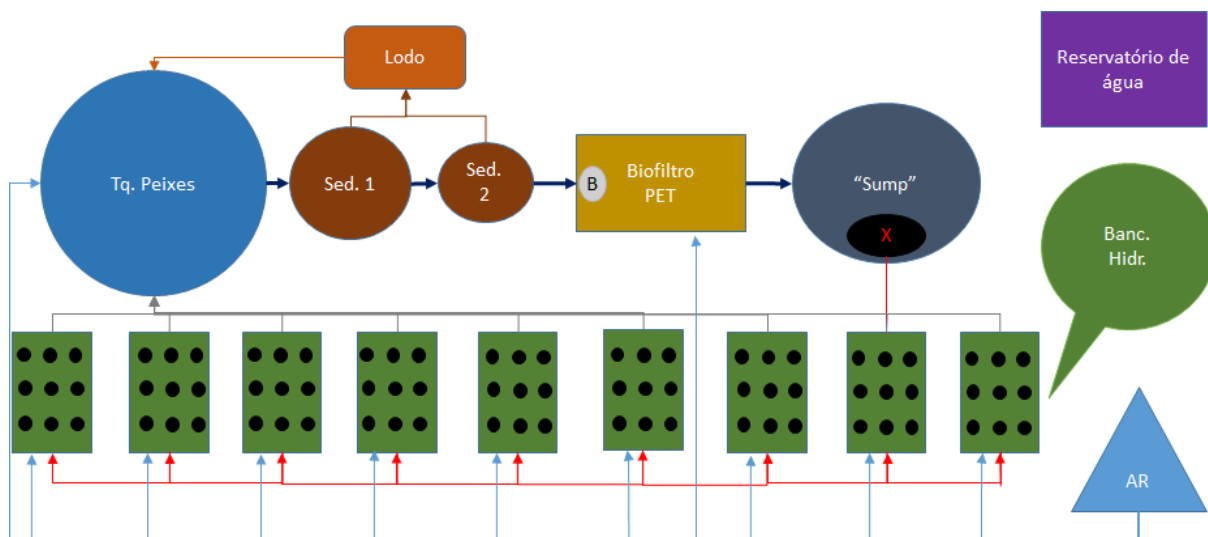
O substrato (também chamado de material suporte) utilizado no biofiltro para formação do biofilme microbiano nitrificante era composto por tampas de garrafas plásticas tipo “PET” (com massa total de 3 kg), que auxiliaram na fixação e colonização microbiana. A aeração era suprida com a utilização da mangueira microperefurada (tipo “Aero-Tube”) com 56 cm de comprimento. Após ocorrer a nitrificação bacteriana no biofiltro a água vertia para o tanque de reservatório circular (150 L).

Neste foi instalada uma bomba submersível com vazão 3.500 L/h, que recalava a água já tratada (efluente final do sistema de recirculação) para as bancadas hidropônicas por tubulação de PVC de ϕ 20 mm. Para controlar a vazão de saída da bomba de recalque foi construído um “by-pass” cuja função era aferir a vazão do sistema de recirculação, com uma conexão de PVC tipo T 90° de ϕ 25 mm, seguido de uma tubulação de PVC de ϕ 25 mm com registro de mesmo diâmetro.

Cada caixa de cultivo hidropônico possuía volume aproximado de 72 L e continha entrada e saída individual da água controladas por um registro de PVC de ϕ 20 mm. Foi mantida vazão de água de 66 L/h com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1,08 h. As saídas de água das caixas de cultivos hidropônicos eram conectadas a uma tubulação de PVC de ϕ 50 mm que retornava a água para o tanque de cultivo dos peixes, com vazão aproximada de recirculação total de 600 L/h. Durante todo o período experimental não houve renovação de água, somente reposição (1% do total de água do sistema por dia) das quantidades perdidas pela

evapotranspiração do sistema e plantas. Na ilustração abaixo (Figura 3) está esquematizado o funcionamento do sistema.

Figura 4: Esquemática do funcionamento do sistema aquapônico



Afim de acelerar a formação de biofilme nitrificante no biofiltro, o sistema ficou em funcionamento durante 30 dias para possibilitar a maturação e colonização adequada dos filtros biológicos pelas bactérias nitrificantes, seguindo recomendações Ebeling (2006) e Timmons (2010). Dois dias antes de iniciar o experimento, cada sistema experimental foi inoculado com 500 L água de um cultivo superintensivo de tilápia em sistema de bioflocos existentes no LAQ/UDESC, com as seguintes características qualitativas da água: SSed totais (27 mL/L), pH (5,18), amônia total (1,26 mg/L), nitrito (0,53 mg/L), alcalinidade (16,00 mg/L de CaCO_3) e ortofosfato (10,85 mg/L). Também foram adicionados em cada sistema 10 g de cal virgem (CaO) para ajuste do pH.

Para manutenção do sistema de bioflocos foi utilizada metodologia adaptada de Emerenciano *et al.* (2007) utilizando uma constante movimentação da água e relação carbono:nitrogênio (C:N) de 14:1 adicionando 17 g/d de melão em pó como fonte extra de carbono.

O ajuste de salinidade foi estimado pelo quadrado de Pearson. Com o volume total do sistema de 1425 L foi necessária a reposição de 110 L de água salgada (38 ppt) por água doce

(0 ppt). Caracterizou-se portanto, um cultivo em água salobra (3 ppt) e um cultivo controle em água doce (0 ppt).

2.2 Plantas

Foram realizados cultivos de plantas em triplicata, com três diferentes variedades de alface (*Lactuca sativa*): alface-roxa, alface-lisa e alface-crespa. Isto totalizou, portanto seis tratamentos: (DOCE-ROXA; SAL-ROXA; DOCE-LISA; SAL-LISA; DOCE-CRESPA; SAL-CRESPA).

As mudas da alface-roxa (peso médio inicial 0,82 g e altura média inicial 6,40 cm), da alface-lisa (peso médio inicial 1,67 g e altura média inicial 8,90cm) e da alface-crespa (peso médio inicial 0,72 g e altura média inicial 7,69 cm), foram distribuídas nas bandejas de isopor (0,5 m x 1,0 m) na densidade aproximada de 20 plantas por metro quadrado, contendo 9 plantas de cada variedade por caixa. Estas estavam dispostas em vasos perfurados com orifício de ϕ 3,2 mm, com substrato de brita para fixação das raízes. As plantas foram constantemente aeradas com uso de pedras porosas (20 mm de diâmetro e 30 mm de altura) dispostas no centro de cada caixa, conectadas a um soprador de ar central (2cv) que fornecia ar para todo laboratório.

No final do experimento todas as plantas foram secas em estufa de recirculação à 55 °C por 72 h para obtenção do peso seco. Os parâmetros fitotécnicos finais avaliados foram: altura das folhas e raízes (cm), peso úmido das folhas e raízes (g), peso seco das folhas e raízes (g), número de folhas por planta, produtividade (kg/m²) e taxa de crescimento específico (TCE) de acordo com a Equação 1, sendo que Ff é o peso úmido final das folhas (g), Fi é o peso úmido inicial das folha (g), t é o tempo (dias) e TCE é expresso em %/d.

Equação 1

$$TCE = \frac{\ln Ff - \ln Fi}{t} \cdot 100$$

Também foi avaliado o índice de qualidade da planta (IQP) por meio de pontuações atribuídas aos aspectos visuais das folhas. Os parâmetros visuais analisados foram relativos à presença de anomalias na superfície foliar, como coloração anormal (amarelada) e/ou defeitos

físicos (rugosidades e queimaduras). As notas foram classificadas de A até D, representando: A) Ótima, com 5% ou menos da superfície foliar apresentando anormalidades; B) Boa, com até 33% de anomalias; C) Regular, com até 66% de anomalias; D) Ruim, com 100% da superfície foliar da planta apresentando anomalias. Assim, as plantas visualmente mais saudáveis receberam nota A. A avaliação foi feita por um único avaliador treinado, buscando evitar desvios de interpretação.

2.3 Peixes

Foram marcados individualmente (alfinete com miçangas coloridas, preso ao pedúnculo caudal) e estocados 45 indivíduos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em cada tanque de cultivo (macrocosmo) com peso médio de 67 g que totalizou uma biomassa de 3,05 kg por tanque ou 6,1 kg/m³.

Os peixes foram alimentados com ração comercial com 32% de proteína bruta, três vezes ao dia (09h30min, 13h30min e 17h00min), na proporção de 2,7% da biomassa inicial, o que totalizou uma oferta diária de 81 g de ração. Com esta massa gerou uma relação de 20 g de ração oferecida por dia para cada metro quadrado de planta ou 1 g de ração por hortaliça folhosa.

Ao final do período experimental foram avaliados os seguintes parâmetros zootécnicos: peso médio final (g), biomassa final (kg), comprimento total e padrão (cm), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar CA (consumo total de ração por ganho de biomassa), índice hepatossomático IHS (peso do fígado em relação ao peso total) (%), rendimento de carcaça (%) e sobrevivência (%).

2.4 Parâmetros físico-químicos da água

Os parâmetros de qualidade da água monitorados diariamente às 9h00min da manhã em nos tratamentos e no macrocosmo, foram: sólidos sedimentáveis (Ssed) (volume de bioflocos medidos em cone Imhoff mL/L), pH peagâmetro microprocessado AT355 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil), temperatura e oxigênio dissolvido (OD) oxímetro AT155 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) e acompanhamento da salinidade (refratômetro).

As concentrações de amônia (N-Amon, mg/L), nitrito (N-NO₃, mg/L), nitrato (N-NO₂ mg/L), alcalinidade (como CaCO₃ em mg/L de CaCO₃) e ortofosfato (PO₄, mg/L) dos macrocosmos foram monitoradas duas vezes por semana através de fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil).

As concentrações de micronutrientes limitantes em sistemas aquapônicos comerciais tais como: cálcio (mg/L de Ca), ferro (mg/L de Fe) e potássio (mg/L de K) foram medidos semanalmente em amostras coletadas nos macrocosmos. A metodologia para medição de Fe e K foi através do fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) e Ca foi medido por titulação com uso do método de acordo com o fabricante (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil).

Foi verificado também todos os dias a temperatura ambiente e luminância (Luxímetro Digital, Mod. 1339, Homis) dentro e fora da estufa às 09h30min e 13h30min, respectivamente.

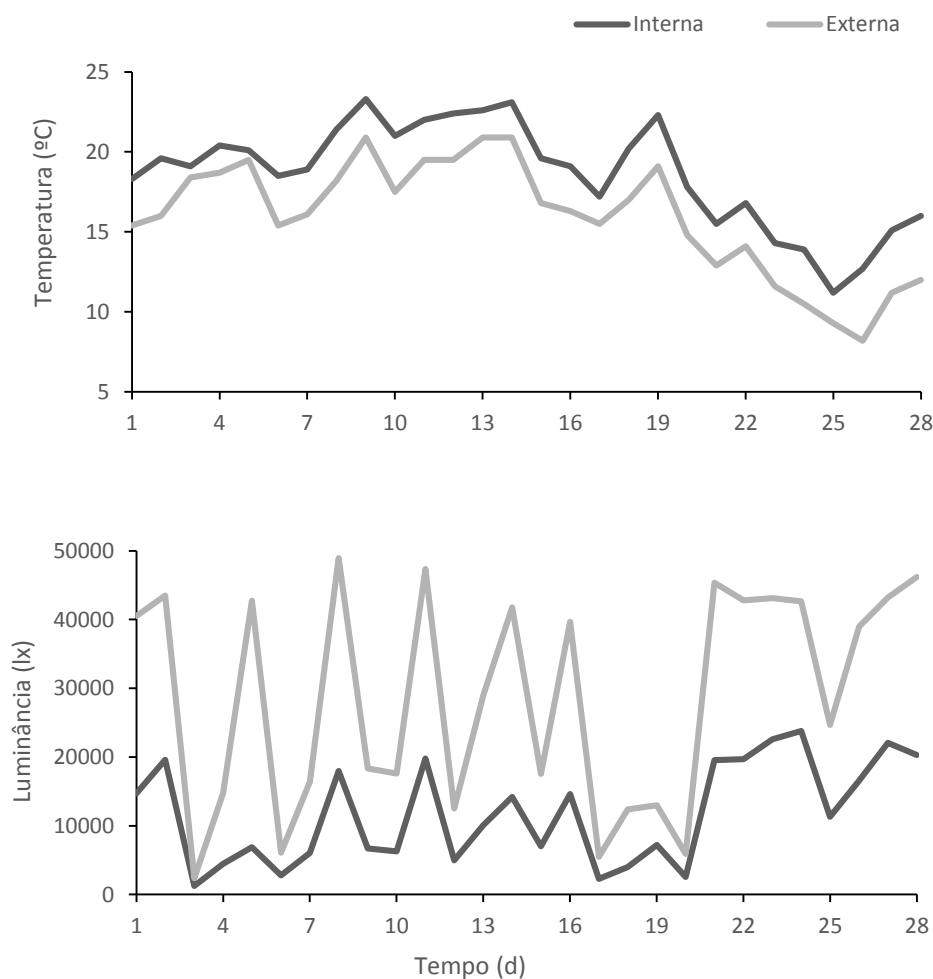
2.5 Análise estatística dos peixes e plantas

Foram realizadas as análises estatísticas do desempenho das culturas de alface considerando as premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias (Sokal & Rohlf, 1995). Foi realizada a análise de variância (ANOVA duas vias) e diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foram detectadas por meio do teste de Tukey (Sokal & Rohlf, 1995). Todos os dados foram analisados a 5% de nível de significância.

3 RESULTADOS

Na Figura 4 são apresentados os dados referentes a temperatura ambiente e luminância dentro e fora da estufa de cultivo durante o período de experimental. O experimento, realizado na estação de outono no hemisfério sul apresentou temperatura média de $16^{\circ}\text{C} \pm 3,6$ e $18,6^{\circ}\text{C} \pm 3,3$ com mínimas de $8,2^{\circ}\text{C}$ e $11,2^{\circ}\text{C}$ e máximas de $20,9^{\circ}\text{C}$ e $23,3^{\circ}\text{C}$ fora e dentro da estufa respectivamente. As médias dos dados de luminância observados foram de 8808 lx e 17890 lx com mínimas de 2332 lx e 7003 lx e máximas de 18900 lx e 42890 lx, fora e dentro da estufa respectivamente.

Figura 5: Temperatura $^{\circ}\text{C}$ e Luminância (lx) ambiente externo e interno durante período experimental



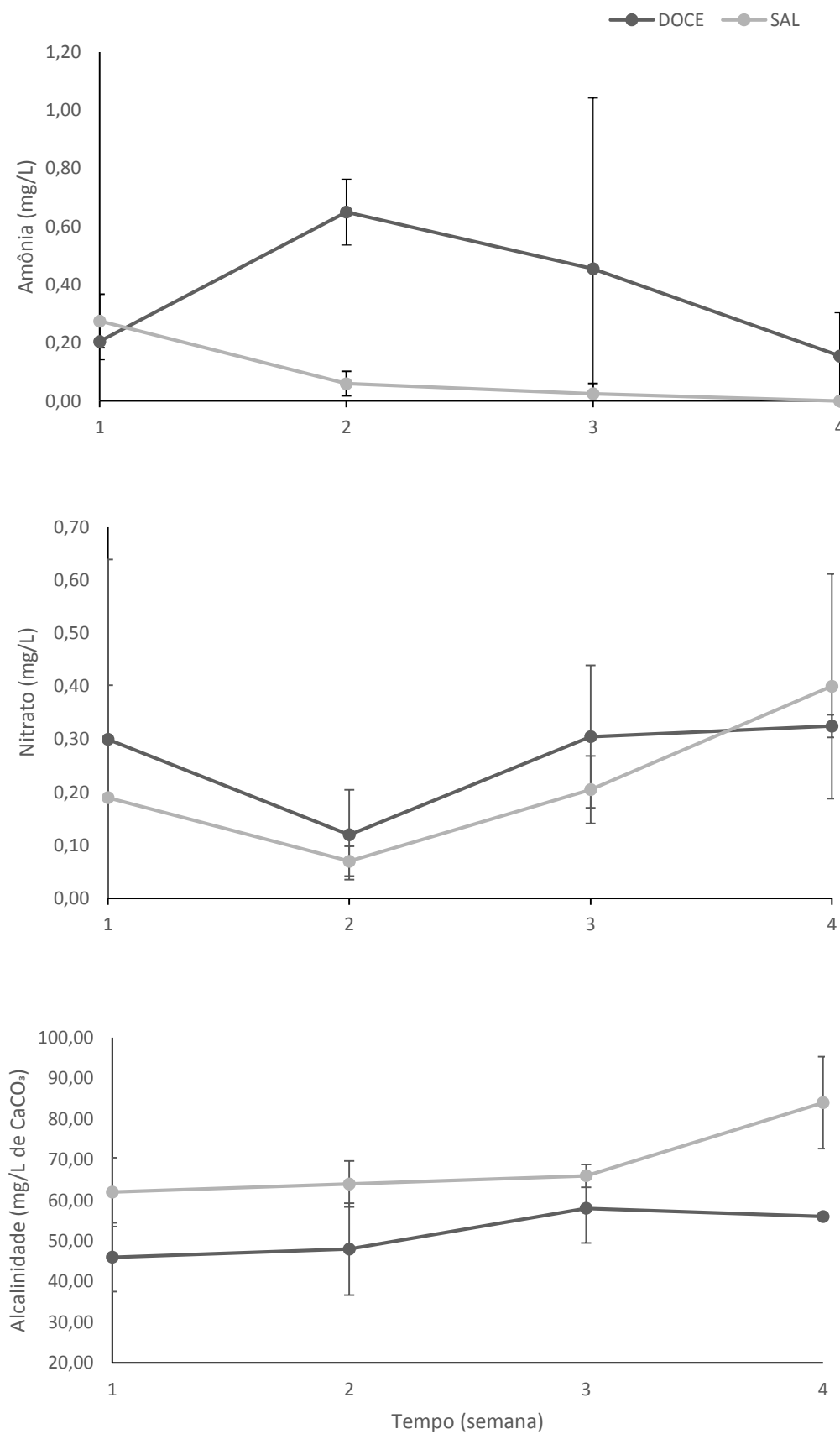
Os parâmetros de qualidade de água monitorados no macrocosmo (tanque de cultivo de peixes) e na bancada hidropônica (caixa de cultivo das plantas) estão apresentados na Tabela 1 com uma estatística descritiva dos dados. Observou-se que os parâmetros de temperatura da água, oxigênio dissolvido e pH foram semelhantes entre todos os tratamentos. A concentração média (mL/L) de bioflocos (Ssed) foi maior no tratamento de água doce e incrementou-se em ambos tratamentos a partir da segunda semana de cultivo.

Tabela 1: Valores médios (acima), mínimos e máximos (abaixo) dos parâmetros monitorados diariamente nas caixas das plantas e nos macrocosmos de peixes (0 ppt e 3 ppt) ao longo do cultivo experimental (28 dias).

Parâmetros	Macro sal	Macro doce	Roxa doce	Roxa sal	Crespa doce	Crespa sal	Lisa doce	Lisa sal
Temperatura (°C)	22,12±2,86 16,50 - 27,60	22,2±2,05 18,50 - 26,20	21,53± 2,51 16,00 - 25,60	21,66±3,03 15,10 - 27,20	21,46±2,5 16,40 - 25,50	21,61±2,87 15,40 - 27,10	21,16±2,67 16,20 - 25,50	21,53±2,99 15,10 - 27,10
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	8,52±0,5 7,50 - 9,73	8,43±0,7 6,83 - 9,86	8,23±0,60 7,17 - 9,46	8,44±0,55 7,40 - 9,71	8,21±0,59 7,04 - 9,75	8,34±0,59 7,11 - 9,59	8,24±0,53 7,02 - 9,45	8,42±0,59 7,25 - 9,76
pH	7,50±0,16 7,25 - 7,84	7,46±0,11 7,30 - 7,80	7,49±0,18 6,86 - 7,80	7,55±0,14 7,22 - 7,55	7,53±0,12 7,35 - 7,82	7,59±0,12 7,30 - 7,81	7,51±0,14 7,22 - 7,73	7,57±0,16 7,14 - 7,79
Ssed (mL/L)	2,66 ± 2,28 0,00 – 6,00	4,91±4,26 0,00 – 12,00	-	-	-	-	-	-
Amônia (mg/L)	0,09±0,12 0,00 - 0,34	0,37±0,32 0,04 - 0,87	-	-	-	-	-	-
Nitrito (mg/L)	0,04±0,06 0,00 - 0,34	0,05±0,07 0,01 - 0,21	-	-	-	-	-	-
Nitrato (mg/L)	0,22±0,17 0,04 - 0,55	0,26±0,17 0,06 - 0,54	-	-	-	-	-	-
Ortofosfato (mg/L)	10,62±5,88 3,55 - 17,50	10,35±6,14 3,31 - 20,10	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade (mg/L de CaCO3)	69,00±11,06 56,00 – 92,00	52,00±8,28 40,00 – 64,00	-	-	-	-	-	-

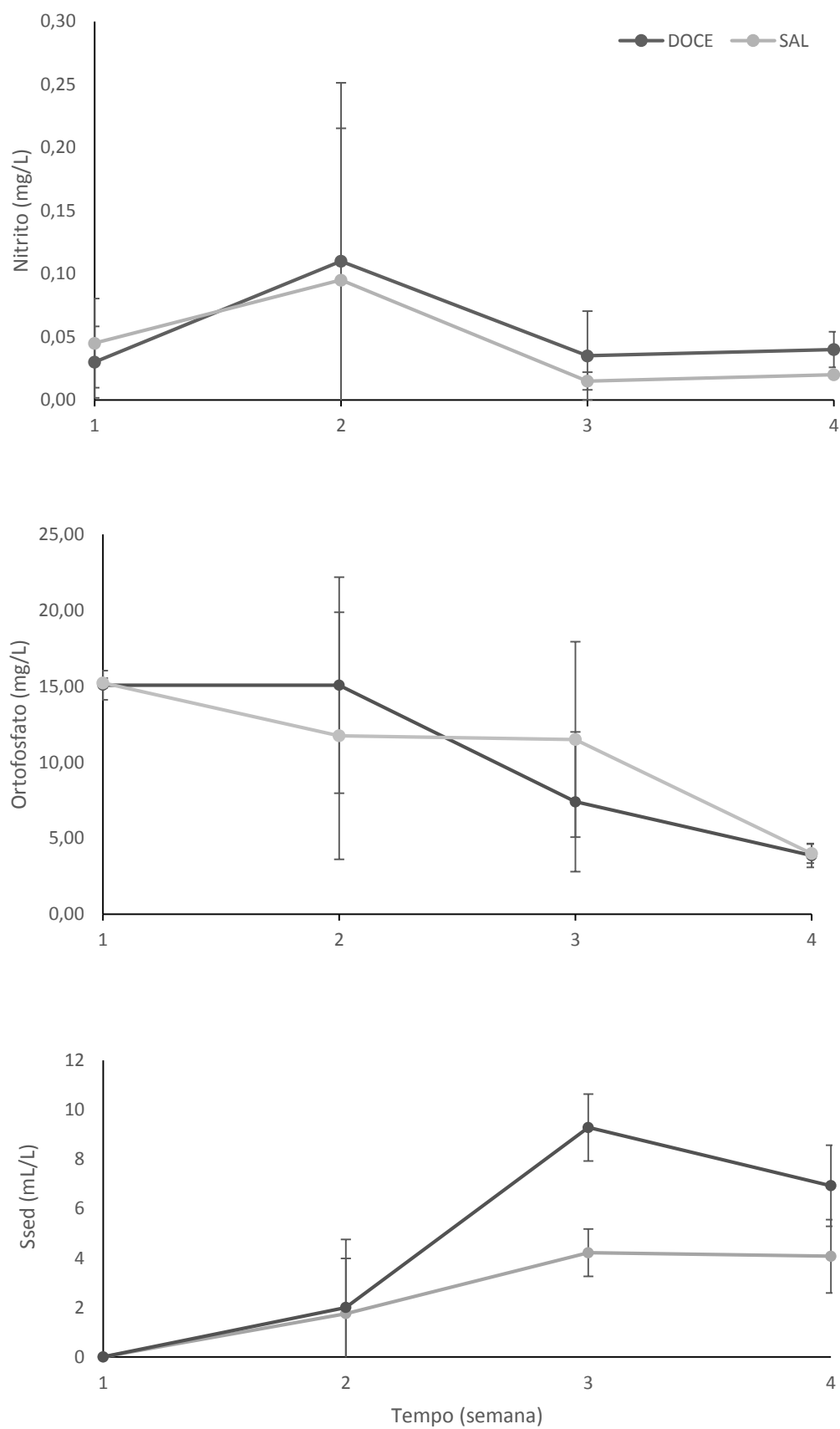
Na Figura 6 são apresentados às oscilações das concentrações de amônia, nitrato e alcalinidade ao longo do tempo de cultivo. Os valores de amônia foram mais elevados para água doce, com máximas de 0,87 mg/L (0 ppt) e 0,37 mg/L (3 ppt). As concentrações de nitrato observadas demonstraram evolução semelhante ao longo do tempo com uma redução na segunda semana de cultivo e posterior aumento com máximas de 0,54 e 0,55 mg/L para água doce e água salobra, respectivamente. Os valores de alcalinidade foram crescente em ambos tratamentos com valores mais elevados para aquaponia em água salobra com máximas de 92 mg/L de CaCO_3 (3 ppt) e 64 mg/L de CaCO_3 (0 ppt).

Figura 6: Variação das concentrações dos parâmetros de qualidade de água coletados dos sistemas ao longo do período experimental de quatro semanas.



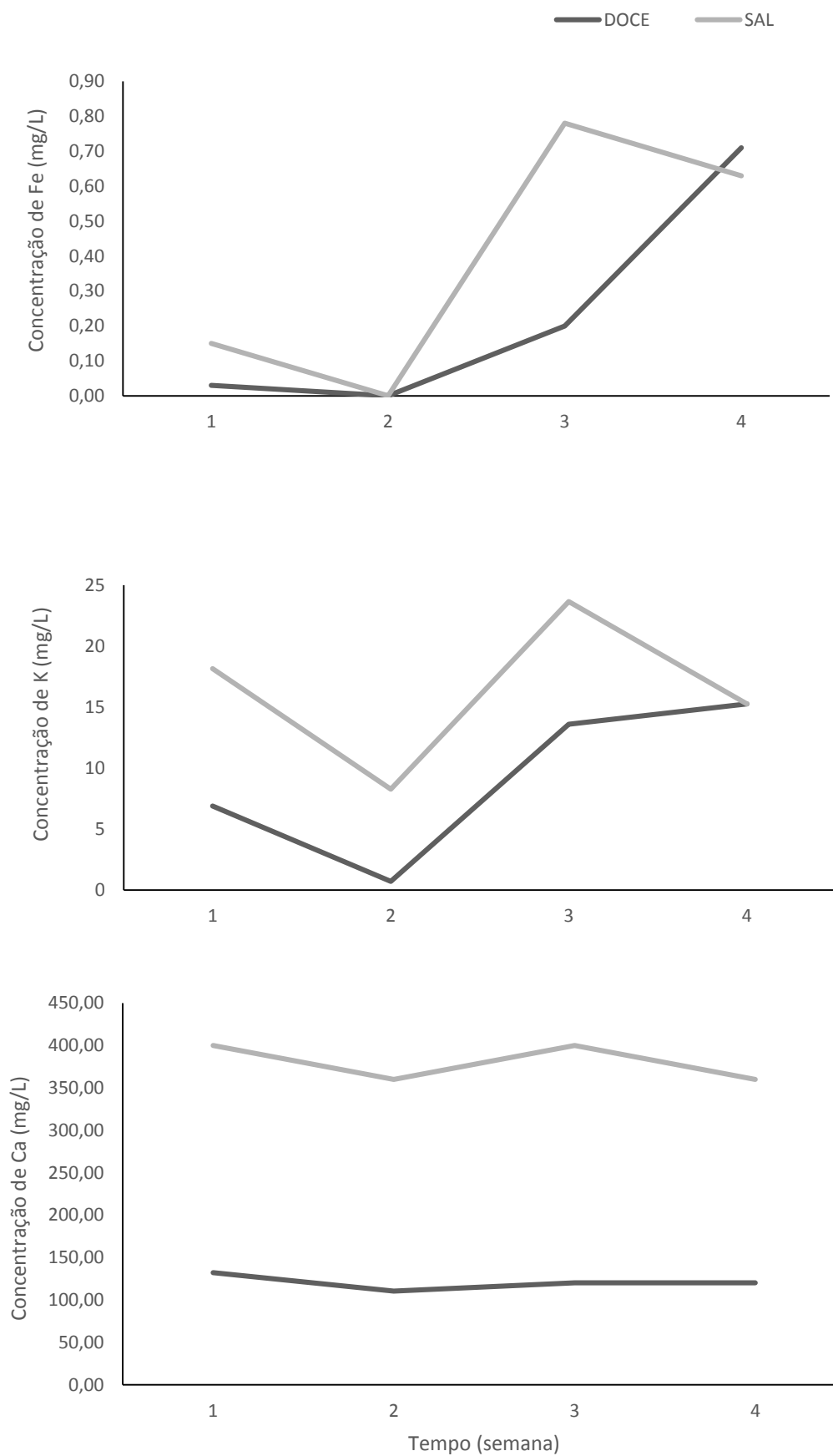
. Na Figura 7 estão representadas as variações das concentrações de nitrito, ortofosfato e sólidos sedimentáveis durante o período experimental. Os valores de nitritos foram semelhantes nos dois tratamentos com média de 0,04 mg/L (3 ppt) e 0,05 mg/L (0 ppt). As concentrações de ortofosfato apresentaram redução em ambos sistemas com máximas e mínimas de 20,1 mg/L e 3,31mg/L para o cultivo água doce e 17,5 mg/L e 3,55mg/L para o cultivo em água salobra, respectivamente. As concentrações de sólidos sedimentáveis foram maiores no tanque de cultivo de água doce com média de 4,91 mL/L em relação a concentração média obtida no tanque de cultivo em água salobra de 2,66 mL/L.

Figura 7: Variação das concentrações dos parâmetros de qualidade de água coletados dos sistemas ao longo do período experimental de quatro semanas.



Na Figura 8 estão especificados os dados referentes as concentrações de Ca, Fe e K que tiveram variação ao longo do tempo. Os níveis mínimos de Fe foram de 0,00 mg/L em ambos tratamentos. Para as concentrações de K tivemos concentrações menores em água doce, com mínimas registradas de 0,70 mg/L e 8,27 mg/L para água doce e salobra, respectivamente. Os valores de cálcio demonstraram constância durante o período experimental para ambos tratamentos com maiores para o cultivo em água salobra, apresentando concentrações médias de 120,64 mg/L em água doce e 380,00 mg/L em água salobra.

Figura 8: Variação das concentrações dos nutrientes Fe, Ca e K nos cultivos em água doce 0 ppt e água salobra 3 ppt durante o período experimental.



Na Tabela 2 estão apresentados os dados fitotécnicos e desempenho produtivo das variedades de alface em ambos os sistemas. Foi observado uma melhor produtividade e taxa de crescimento específico nas variedades cultivadas no sistema de água doce em relação ao de água salgada ($p < 0,05$). Houve interação entre a salinidade e as variedades de alfaces nos parâmetros comprimento das raízes (CR) e a matéria seca das folhas (MSF).

O índice de qualidade das plantas (Figura 9) mostra que a variedade roxa no sistema de água salobra foi a única que demonstrou qualidade de plantas notas “A”, seguido da variedade roxa e crespa em água doce com maiores porcentagem de notas “B”. A variedade lisa em água doce ficou com maioria das notas “C” e as variedades crespa e lisa em água salobra apresentaram mais notas “D”.

Figura 9: Índice de Qualidade de planta das 3 variedades de alfaces nos cultivos em água doce 0 ppt e água salobra 3 ppt.

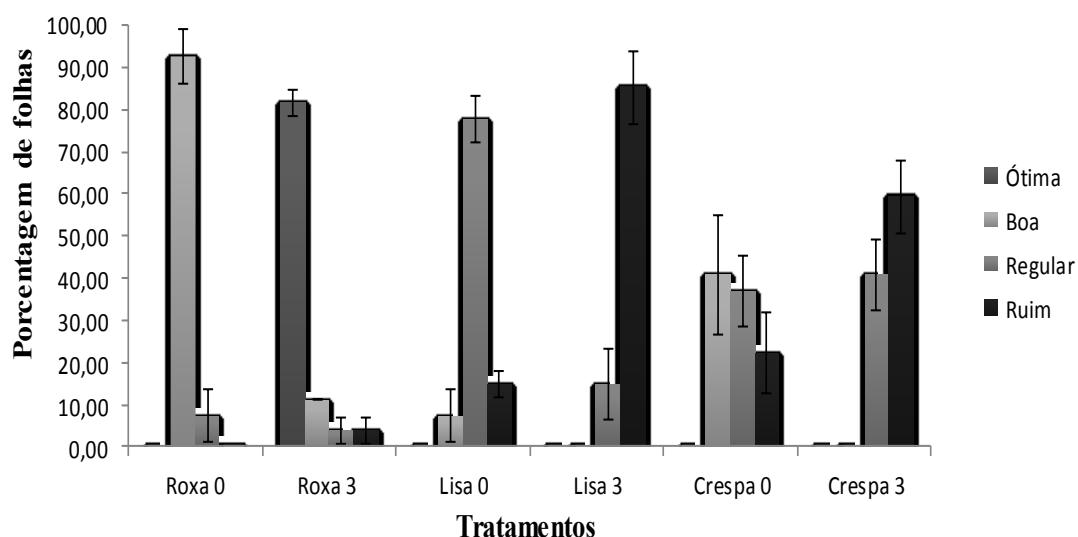


Tabela 2: Médias \pm desvio padrão de parâmetros fitotécnicos de três variedades de alface (*Lactuca sativa*) em diferentes salinidades em sistema aquaponia.

Sal	Alface	CF (cm)	CR (cm)	PUF (g)	PUR (g)	TCE (%/dia)	PSF (g)	PSR (g)	MSF (%)	MSR (%)	PRO (kg.m ⁻²)	NFO
0	Roxa	20,89 \pm 1,03	44,51 \pm 1,68 Ab	60,29 \pm 6,93	9,35 \pm 1,84	15,33 \pm 0,42	2,81 \pm 0,46	0,41 \pm 0,09	4,63 \pm 0,24 Aa	4,42 \pm 0,13	1,21 \pm 0,14	20,59 \pm 0,53
	Lisa	19,39 \pm 1,97	31,54 \pm 2,71 Ac	56,73 \pm 10,77	7,85 \pm 1,12	12,56 \pm 0,67	2,17 \pm 0,61	0,59 \pm 0,12	3,86 \pm 0,30 Bb	5,95 \pm 0,85	1,13 \pm 0,26	19,91 \pm 1,35
	Crespa	23,59 \pm 1,68	50,20 \pm 1,59 Aa	64,54 \pm 10,29	13,59 \pm 3,41	16,02 \pm 0,55	2,20 \pm 0,49	0,48 \pm 0,15	3,74 \pm 0,14 Ab	6,01 \pm 1,08	1,29 \pm 0,22	18,69 \pm 1,46
3	Roxa	20,31 \pm 0,86	39,72 \pm 2,39 Ba	53,43 \pm 13,21	10,39 \pm 3,46	14,84 \pm 0,93	1,17 \pm 0,31	0,48 \pm 0,01	4,03 \pm 0,15 Bab	5,81 \pm 0,33	1,06 \pm 0,14	15,02 \pm 0,32
	Lisa	15,52 \pm 0,44	25,70 \pm 3,22 Bb	26,82 \pm 6,78	8,69 \pm 0,37	9,85 \pm 0,88	2,38 \pm 0,31	0,63 \pm 0,23	4,51 \pm 0,27 Aa	4,87 \pm 0,44	0,53 \pm 0,21	21,94 \pm 1,68
	Crespa	21,11 \pm 0,77	37,22 \pm 2,74 Ba	39,30 \pm 9,17	9,86 \pm 1,22	14,21 \pm 0,91	1,51 \pm 0,4	0,51 \pm 0,04	3,75 \pm 0,38 Ab	5,13 \pm 1,00	0,78 \pm 0,18	19,11 \pm 1,64
Méd												
0		21,29 \pm 2,31 A	42,08 \pm 8,47 A	60,52 \pm 8,89 A	10,26 \pm 3,27	14,64 \pm 1,66 A	2,46 \pm 0,48 A	0,51 \pm 0,17	4,08 \pm 0,47	5,10 \pm 0,92	1,21 \pm 0,17 A	21,00 \pm 4,54 A
3		18,98 \pm 2,69 B	34,22 \pm 6,91 B	39,85 \pm 14,46 B	9,65 \pm 1,99	12,97 \pm 2,48 B	1,62 \pm 0,60 B	0,53 \pm 0,08	4,10 \pm 0,41	5,63 \pm 0,77	0,80 \pm 0,28 B	17,56 \pm 3,30 B
	Roxa	20,60 \pm 0,91 a	42,12 \pm 3,21 a	56,86 \pm 10,16	9,87 \pm 2,54	15,09 \pm 0,70 a	2,49 \pm 0,60 a	0,50 \pm 0,14	4,33 \pm 0,38 a	5,19 \pm 0,99	1,14 \pm 0,20 a	17,22 \pm 1,40 a
	Lisa	17,45 \pm 2,48 b	28,62 \pm 4,16 b	41,78 \pm 18,26	8,27 \pm 0,88	11,20 \pm 1,64 b	1,69 \pm 0,67 b	0,48 \pm 0,09	4,19 \pm 0,44 a	5,91 \pm 0,72	0,84 \pm 0,36 b	24,09 \pm 3,61 b
	Crespa	22,35 \pm 1,79 a	43,71 \pm 7,39 a	51,92 \pm 16,32	11,73 \pm 3,07	15,12 \pm 1,20 a	1,94 \pm 0,59 ab	0,57 \pm 0,16	3,75 \pm 0,25 b	5,00 \pm 0,71	1,04 \pm 0,33 ab	16,52 \pm 2,04 a
P	Salinidade	0,002	<0,001	0,007	NS (0,57)	0,004	0,002	NS (0,14)	NS (0,88)	NS(0,15)	0,004	0,004
	Alface	<0,001	<0,001	NS (0,06)	NS (0,06)	<0,001	0,03	NS (0,49)	0,006	NS(0,12)	0,04	<0,001
	Interação	NS (0,11)	0,03	NS (0,14)	NS (0,15)	NS (0,07)	NS (0,75)	NS (0,16)	0,004	NS(0,15)	NS (0,14)	NS (0,11)

CF; Comprimento da folha; CR: Comprimento da raiz; PUF: Peso úmido das folhas; PUR: Peso úmido da raiz; TCE: Taxa de crescimento específico PSF; Peso seco das folhas; PSR: Peso seco da raiz; MSF: Matéria seca folha; MSR: Matéria seca da raiz; PRO: Produtividade; NFO: Numero de folhas. Na parte superior da tabela letras maiúsculas indicam diferença entre a mesma alface em diferentes salinidades e letras minúsculas indicam diferença entre as três variedades de alface na mesma salinidade ($P < 0,05$), na parte inferior da tabela letras maiúsculas indicam diferença entre as médias em cultivo salobro e letras minúsculas indicam diferença entre as variedades de alface.

Os dados zootécnicos dos peixes são apresentados na Tabela 3. A sobrevivência foi de 97,78% para ambos tratamentos e uma densidade final de despesca de 8,65 kg/m³ para água doce e 8,34 kg/m³ para água salobra. Não houveram diferenças estatísticas nos parâmetros analisados, exceto para o índice hepato-somático que foi maior em água salobra.

Tabela 3: Parâmetros zootécnicos *Oreochromis niloticus* em sistemas de aquaponia em (BFT) comparando água doce (0 ppt) e água salobra (3ppt).

	DOCE	SALOBRA	P
Peso inicial (g)	66,07±12,08	67,97±10,39	NS (0,43)
Peso Final (g)	94,76±21,01	98,30±18,13	NS (0,39)
CT (cm)	16,62±1,22	16,89±0,95	NS (0,25)
CP (cm)	13,95±1,05	14,09±0,82	NS (0,48)
GP (g)	28,69±11,50	30,33±12,51	NS (0,52)
CA	2,18±0,95	2,01±0,60	NS (0,47)
TCE (%/dia)	1,15±0,27	1,21±0,25	NS (0,42)
FC	17,84±2,81	17,85±1,86	NS (0,55)
IHS	3,07±0,59 a	4,35±0,60 b	0,001
RC (%)	88,50±2,04	87,53±1,11	NS (0,16)

Média ± Desvio padrão; CT= Comprimento Total; CP = Comprimento Padrão; GP = Ganho de Peso; CA; Conversão Alimentar; TCE = Taxa de Crescimento Específico; FC = Fator de Condição; IHS =Índice hepato-somático; RC = Rendimento de carcaça. Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey P < 0,05.

4 DISCUSSÃO

4.1 QUALIDADE DE ÁGUA

Devido as baixas temperaturas os níveis de oxigênio dissolvido (OD) nos tanques de cultivo de peixes e nas caixas de cultivo de plantas foram relativamente elevados e apresentaram médias entre 8,20 e 8,50 mg/L, acima dos valores normalmente observados em cultivos aquapônicos (GRABER; JUNGE, 2009; RAKOCY et al., 2007; ROOSTA; HAMIDPOUR, 2011). No entanto supriu as demandas necessárias para cultivos em sistemas de bioflocos, que necessitam de valores elevados de OD na água (HARGREAVES, 2013).

O pH durante o experimento apresentou leve flutuação (7,20-7,80) com média total de 7,5. O recomendado para sistemas de aquaponia, segundo Tyson *et al.* (2004), é uma faixa de pH entre 6,5 – 7, o que aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e melhora suas taxas de absorção. O pH acima de 7,5 interfere diretamente na solubilidade na água e disponibilidade para as plantas dos seguinte nutrientes P, Fe, Mn, B, Cu e Zn (Resh, 1991). Tyson *et. al* (2008), evidenciaram que a produtividade (kg/m²) de pepinos (*Cucumis sativa*) não diferiu entre cultivos com pH da água de 6, 7 e 8 e houveram maiores taxas de nitrificação e concentrações de nitratos NO₂-N nos tratamentos com pH mais alcalino. Mais estudos devem ser realizados verificando produtividades do cultivo de diferentes espécies de plantas e peixes e nitrificação de bactérias em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de pH.

A temperatura da água com média de 22°C para ambos tratamentos ficou abaixo do ideal para o cultivo de tilápias entre 24 e 30°C (TIMMONS; EBELING, 2010) e não influenciou negativamente o cultivo das hortaliças que detém 23°C como temperatura ideal para o seu crescimento (RAKOCY et al., 2006). A baixa temperatura da água do cultivo está relacionada as baixas temperaturas do ambiente registradas com mínimas de 8,2°C e 11,2°C para o ambiente externo e interno da estufa, respectivamente.

Um dos grandes desafios para a aquaponia em sistema de bioflocos é a manutenção simultânea dos níveis adequados de sólidos sedimentáveis para os peixes (níveis mais elevados) e para plantas (níveis mais baixos, visando a “saúde” das raízes). As quantidades de sólidos sedimentáveis, medidos nos macrocosmos, foram maiores no cultivo em água doce com média 4,91 mL/L em relação à água salobra 2,66 mL/L. No entanto, ambos ficaram com níveis bem abaixo do recomendado para cultivo de tilápias em sistemas de bioflocos que é de 25 a 50 mL/L (HARGRAEVES, 2013). Na primeira semana de cultivo não houve incremento nos níveis de sólidos, devido ao fato de grandes quantidades de sólidos ficarem retidos nos sedimentadores e nas caixas de cultivo de plantas. O fato de o primeiro

sedimentador não apresentar um fundo cônico apresentou falhas na remoção dos sólidos. A remoção de sólidos e o dimensionamento correto de um sedimentador é uma etapa crucial para um bom funcionamento de um sistema de recirculação (SUMMERFELT, 2001; TIMMONS; EBELING, 2010), pois evita o acúmulo de matéria orgânica nos filtros biológicos e não prejudica as taxas de remoção de nitrogênio (EDING et al., 2006).

Após o décimo dia iniciou-se o processo de sifonagem do fundo do primeiro sedimentador com o auxílio do “air-lift”, aumentando consideravelmente o nível de bioflocos presente no tanque dos peixes. O sedimento depositado ao fundo dos tanques, caixas e sedimentadores estão em condições anóxicas, com interfaces de diferentes gradientes químicos e físicos, dissipam o oxigênio dissolvido e nitratos e produzem amônia e fosfato reativo, o que pode levar a produção de sulfitos e outros gases tóxicos (HARGREAVES, 2006). É previsto que as reações que acontecem entre o sedimento e a coluna da água retardam o crescimento de espécies aquícolas (AVNIMELECH; ZOHAR, 1986). Neste processo pode ocorrer também uma redução das concentrações de nitratos na água que é utilizado pelas bactérias para oxidar a matéria orgânica no processo de desnitrificação (HARGREAVES, 2013).

Para que não haja esse acúmulo de sólidos prejudiciais ao sistema deve-se estudar alternativas viáveis para sua devida remoção. Ajustes nos dispositivos de tratamento podem melhorar a eficiência de remoção de sólidos e aliado à integração à outras espécies aquícolas pode-se aumentar o aproveitamento da matéria orgânica produzida, beneficiando as culturas presentes no sistema.

As máximas concentrações de amônia e nitrato encontradas nas águas dos cultivos foram de 0,82 mg/L de NH_4 no cultivo em água doce e 0,55 mg/L de NO_3 em água salobra, ficando dentro dos níveis recomendáveis para cultivo de peixes (BOYD, 1992; BOYD; TUCKER, 1998; GRABER; JUNGE, 2009). As máximas concentrações de nitrito 0,21 mg/L para água salgada e 0,52 mg/L para água doce foram semelhantes a observados em cultivos de bioflocos (AZIM; LITTLE, 2008; HARGREAVES, 2006). A amônia demonstrou maior disponibilidade em água doce em relação à salgada. Segundo Decamp *et al.* (2003), a dinâmica dos compostos nitrogenados em sistemas de cultivo em biofloco não é afetada pela salinidade. No entanto, o oposto foi observado no presente experimento. Houve um breve pico de nitrito (Figura 7) em ambos cultivos e pode estar vinculado ao início de maturação dos filtros biológicos com a colonização pelo gênero de bactérias *Nitrosomonas* (TIMMONS; EBELING, 2010). Em cultivos em BFT as bactérias heterotróficas fazem a primeira colonização do meio de cultivo por apresentarem crescimento acelerado, cerca de dez vezes mais rápido que bactérias nitrificantes (HARGREAVES, 2006), absorvendo as quantidades de NH_4 presentes na água, transformam em biomassa (proteína) e promovem a nutrição dos animais do cultivo (SCHNEIDER et al., 2005). Os bioflocos (sólidos em suspensão) podem servir por sua vez como substrato para colonização de bactérias quimioautotróficas (nitrificantes) (HARGREAVES,

2013). Os principais fatores que afetam o crescimento de bactérias nitrificantes em sistemas de BFT são: concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito, relação C:N, oxigênio dissolvido, alcalinidade e temperatura da água (EBELING et al., 2006).

Podem ocorrer diversas interações dinâmicas entre as populações de bactérias em um sistema de bioflocos que poderiam afetar um cultivo aquapônico. Analisando os parâmetros de qualidade de água do presente estudo imagina-se que houve uma predominância de bactérias do tipo heterotróficas, o que pode ter afetado diretamente a disponibilidade de nitratos na água e o crescimento das alfaces. Para sistemas de aquaponia é desejável a presença de quantidades suficientes de colônias de bactérias nitrificantes para disponibilizar as quantidades de nitratos necessárias para o crescimento das plantas. Mais estudos devem ser realizados para analisar o desenvolvimento em conjunto de bactérias heterotróficas e nitrificantes em sistemas de aquaponia utilizando a tecnologia de bioflocos com o objetivo de acompanhar os padrões de colonização bacteriana, nitrificação e crescimento das culturas.

Devido a maior quantidade de carbonatos de cálcio em água salinas, o cultivo em 3 ppt apresentou uma maior alcalinidade, mesmo assim ambos os níveis de 92 e 64 mg/L de CaCO_3 para água salobra e doce respectivamente, ficaram abaixo de outros encontrados na literatura para sistemas de cultivo aquapônicos com média de 250 mg/L de CaCO_3 (ROOSTA; HAMIDPOUR, 2011) e abaixo do ideal previsto para sistemas com a tecnologia de bioflocos, entre 100-150 mg/L de CaCO_3 (AVNIMELECH, 2012). Mesmo a alcalinidade da água com médias abaixo do ideal para o sistema, percebe-se que houve um aumento de suas quantidades durante o cultivo. Bactérias nitrificantes consomem grandes quantidades de alcalinidade. Denota-se que no presente cultivo não houve diminuição da alcalinidade sugerindo uma possível dominância de bactérias heterotróficas > nitrificantes que utilizam menos quantidades de alcalinidade para suas reações (EBELING et al., 2006).

As quantidades de ortofosfato presentes na água variaram bastante durante o cultivo, com uma tendência de redução de suas concentrações em ambos tratamentos. Esta redução pode estar relacionada a uma possível absorção destes compostos pelas plantas ou precipitação deste elemento junto ao cálcio na forma de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (SEAWRIGHT et al., 1998).

É previsto na literatura níveis baixos de fósforo (P), potássio (K), ferro (Fe), manganês (Mn) e enxofre (S) em sistemas aquapônicos quando não ocorre a suplementação destes elementos (NAIR et al., 1985; ADLER et al., 1996; SEAWRIGHT et al., 1998). As concentrações de Fe no sistema foram < 1,0 mg/L, que segundo Rakocy (2006) devem estar acima de 2,0 mg/L. O Fe é um composto que precipita muito fácil em soluções aquosas com $\text{pH} > 6,5$ na forma de hidróxido de ferro (ALT et al., 1980), sinalizando portanto um possível destino deste mineral no presente cultivo, onde os níveis de pH apresentaram média de 7,5. As quantidades de K demonstraram variação durante o cultivo

demonstrando uma possível absorção das plantas na semana 2 e 4. Os níveis de Ca aparentaram pouca flutuação o que pode representar baixa absorção deste composto pelas plantas. Normalmente é realizada a suplementação semanal de sistemas comerciais de aquaponia com as bases KOH e CaOH que mantêm os nutrientes em níveis ótimos pelas plantas e auxiliam elevação do pH (RAKOCY et al., 2006). Os nutrientes limitantes apareceram em maiores concentrações no cultivo de água salobra em relação ao cultivo de água doce. Estudos alegam que quantidades de Na^+ dissolvidas na água podem interferir na absorção de potássio e cálcio (DOUGLAS, 1985), podendo revelar um problema para cultivos de aquaponia em água salobra. Mais estudos devem ser realizados entre os possíveis sinergismos e antagonismos de nutrientes e compostos e a disponibilidade para as plantas bem como suas taxas de absorção.

4.2 PEIXES

O único dado zootécnico dos peixes que apresentou diferença significativa entre os tratamentos foi o índice hepatossomático (IHS), maior em água salobra. Peixes cultivados em água salobra obtiveram maior (IHS). Este fato pode ser explicado por Güner et al (2006) que sugere que *Oreochromis niloticus* cultivada em águas salobras (5 ppt) apresentaram condições de iso-osmose com o meio, economizando energia para realizar osmorregulação, possivelmente acarretando um maior acúmulo de gordura no fígado.

Não existiu diferença do ganho de peso (GP) entre os tratamentos com médias de 28,69 g e 30,33 g para os cultivos em água doce e salobra respectivamente. A conversão alimentar (CA) foi de 2,18 para água doce e 2,01 para água salobra, parecido com dados obtidos por HU et al. (2015) com CA de 2,00 e acima de outros trabalhos realizados com aquaponia com CA de 1,6 (MOYA et al., 2014) e 1,3 (AL-HAFEDH et al., 2008) que foram cultivos mais longos. Comparando estes valores com outros trabalhos com cultivo de tilápia em sistemas de bioflocos, os dados do presente trabalho foram inferiores aos obtidos por Azim e Little (2008) com média de CA de 3,51; mas foram superiores aos trabalhos de Hargreaves (2006) com CA de 1,83 e Rakocy (2002) com CA de 1,9. Certamente a conversão alimentar foi afetada negativamente devido a baixa temperatura média da água de cultivo (22°C), muito abaixo da temperatura ideal de 28°C para a espécie (TIMMONS; EBELING, 2010).

4.3 PLANTAS

As taxas de crescimento específico (TCE) e a produtividade total (PRO) apresentaram diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$). Comparando as médias totais das plantas entre os cultivos de água doce e salobra, percebe-se que produção e as taxas de crescimento específicas foram maiores em água doce com TCE de 14,64 %/d contra 12,97 %/d e PRO de 1,21 kg/m² contra 0,8 kg/m², respectivamente. As TCE em ambos cultivos apresentaram valores acima do constatado por Deidu *et al.* (2011) que em um cultivo experimental de 21 dias a cultura do alface demonstrou TCE médio de 10 %/d. Em relação a produtividade comparando com Pinho (2015), que cultivou as 3 variedades de alface em um sistema de aquaponia de água clara comparando com um sistema de BFT durante o verão (21 dias) obteve produtividades médias de 0,42; 1,73; e 1,20 kg/m² para as variedades roxa, lisa e crespa, respectivamente. Diferente do presente estudo que obtivemos as maiores produtividades para a variedade roxa 1,14 kg/m², seguido da alface crespa 1,04 kg/m² e por último a variedade lisa 0,84 kg/m², mas com 28 dias. A variedade roxa demonstrou um bom crescimento em temperaturas relativamente baixas o que diferiu do baixo crescimento obtido por Pinho (2015) pela mesma variedade durante o verão. Já a variedade lisa obteve um pior desempenho produtivo no outono comparado ao desempenho relatado no verão pelo referido autor.

Pode-se dizer que a salinidade afetou negativamente o crescimento e a produtividade das variedades de alface. Segundo Ayers e Westcott (1999), as quantidades de sais na água podem levar a diminuição do potencial osmótico da solução, a seca fisiológica, o acúmulo de íons tóxicos e desequilíbrio iônico. Soares (2007), diz que plantas em condições salinas podem apresentar sintomas de crescimento lento, murchamento temporário (observados no presente trabalho) e folhas queimadas e pequenas (também observado), o que corrobora com os resultados de qualidade de planta obtidos neste experimento para as variedades crespa e lisa. No entanto, o cultivo de alfaces já demonstrou tolerância à salinidade em diversos cultivos hidropônicos (PAULUS *et al.*, 2010; RESH, 1992; SOARES, 2007). Vale ressaltar que a variedade roxa apresentou qualidade de planta (IQP) superior a todos os tratamentos, com folhas mais íntegras e coloração mais intensa, características também verificadas por Rodrigues (2002), que denotou um efeito benéfico dos sais proporcionando uma maior firmeza e rigidez para as plantas. Já foi evidenciado algum tipo de mecanismo de adaptação da variedade de alface roxa às condições salinas por Paulus *et al.* (2010), que submeteram as variedades crespa e roxa ao cultivo salino em hidroponia e a alface roxa apresentou maiores teores de nitrato, clorofila e prolina em relação a variedade crespa. A variedade crespa mesmo com índice baixo de qualidade de planta juntamente com a variedade roxa demonstraram desempenho produtivo e tolerância à salinidade no presente estudo concomitante com o trabalho de Paulus *et al.* (2010) que demonstrou viabilidade produtiva das culturas.

Maiores estudos devem ser realizados submetendo outras espécies e variedades de plantas à condições de cultivo salino em sistemas de aquaponia. Também deve-se estudar mais a fundo os mecanismos de osmorregulação presentes na variedade roxa que pode vir a tornar-se uma alternativa de produção e integração à sistemas de cultivo de aquaponia em água salobra.

O fator comprimento das raízes (CR) apresentou interação entre a salinidade e as plantas com diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$). Diferente do observado por Soares (2007), neste trabalho a salinidade demonstrou maior efeito negativo sobre as raízes em relação a parte aérea da hortaliça. O comprimento menor das raízes no cultivo em água salobra pode estar relacionado ao fato das plantas estarem em uma condição de seca fisiológica, o que reduz a absorção de água da planta pelas raízes (SOARES, 2007).

Vários quesitos podem ter influenciado negativamente o crescimento das plantas em geral: $\text{pH} > 7,5$, sólidos sedimentáveis na bancada hidropônica, matéria orgânica presente nas raízes, baixa nitrificação e disponibilidade de nutrientes.

A relação utilizada de arraçoamento por metro quadrado de cultivo de planta ao dia de 20 g/(m².d) foi abaixo do recomendado por Rakocy *et al.* (2011). As alfaces, mesmo em cultivo de água doce aparentaram deficiências nutricionais. De acordo com Rakocy (2007), as quantidades de nitrogênio inseridas ao sistema pelo arraçoamento devem estar além das concentrações de requerimento pelas plantas, afim de proporcionar uma melhor absorção de outros nutrientes essenciais. Lennard (2011) utilizou uma relação de 16 g/(m².d) em um cultivo de tilápias e alfaces e obteve resultados de qualidade de plantas somente em cultivos com a suplementação de nutrientes (K, Ca e Fe). Estas afirmações condizem com as observações feitas neste presente trabalho, com uma baixa oferta de ração sem a suplementação de nutrientes resultou em plantas com baixa qualidade e produtividade. Mais estudos devem ser realizados afim de encontrar um balanço ideal peixes/plantas e suplementações para sistemas de aquaponia que utilizem a tecnologia de bioflocos visando maximizar a utilização de insumos inseridos ao sistema afim de gerar maior produtividade das culturas com os menores custos possíveis.

5 CONCLUSÃO

O rendimento das alfaces cultivadas em água doce foi superior às cultivadas em água salobra. As variedades crespa e roxa demonstraram tolerância à salinidade, o que não ocorreu com a variedade lisa. O maior índice de qualidade de planta obtido foi para a variedade roxa cultivada em água salobra, sugerindo que esta variedade apresenta mecanismos de osmorregulação quando submetida a condições salinas. É possível integrar a produção de alface roxa em sistemas de aquaponia com tecnologia de bioflocos em baixa salinidade.

REFERÊNCIAS

- ACEB. **1º Anuário Brasileiro da Pesca e Aquicultura – Brasil**. Associação Cultural e Educacional Brasil, Brasília, DF, 136 p., 2014.
- ADLER, P.R.; TAKEDA, F.; GLENN, E.M.; SUMMERFELT, S.T. **Utilizing byproducts to enhance aquaculture sustainability**. *World Aquaculture*. n. 27(2), p. 24-26, 1996.
- ALT, D. **Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth—an important factor in soilless culture**. Fifth International Congress on Soilless Culture. Proceedings of a Conference, 18–24 May 1980, Wageningen, The Netherlands. pp. 97–110, 1980.
- AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; BELTAGI, M.S. **Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants**. *Journal of the world aquaculture society*, v. 39, n. 4, p. 510-520, 2008.
- AVNIMELECH, Y.; ZOHAR, G. **The effect of local anaerobic conditions on growth retardation in aquaculture systems**. *Aquaculture*. n. 58(3-4), p. 167-174, 1986.
- AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology -A Practical Guide Book, 2d Edition**. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States, 2012.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 153p. (Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29), 1999.
- AZIM, M.E.; LITTLE, D.C. **The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. *Aquaculture*, n. 283, p. 29–35, 2008.
- BLIDARIU, F.; BANAT’S, A.G. **Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics - A Review**. *Animal Science and Biotechnologies*. 2011.
- BOYD, C.E. **Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level**. *Aquaculture*, v. 226, p. 101-112, 2003.
- BOYD, C.E. **Water quality in ponds for aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn university. 1992.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Pond aquaculture water quality management**. Norwell, Massachusetts,. v. 2061, p. 144-147, 1998.
- DECAMP, O.; CODY, J.; CONQUEST, L.; DELANOY, G.; TACON, A. G. **Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems**. *Aquaculture Research*. n. 34(4), p. 345-355, 2003.
- DEDIU, L.; CRISTEA, V.; XIAOSHUAN, Z. **Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce**. *African Journal of Biotechnology*. n. 11(9), p. 2349-2358, 2012.
- DIVER, S. **Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture**. ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. National Center for Appropriate Technology. p. 1-25, 2006.

DOUGLAS, J.S. **Advanced guide to hydroponics**. Pelham Books, 1985.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. **Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems**. *Aquaculture*. n. 257(1), p. 346-358, 2006.

EDING, E.H.; KAMSTRA, A.; VERRETH, J.A.J.; HUISMAN, E. A.; KLAPWIJK, A. **Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review**. *Aquacultural engineering*. n. 34(3), p. 234-260, 2006.

EMERENCIANO, M.G.C.; BALLESTER, E. L. C.; CAVALLI, R.O.; WASIELESKY, W. **Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817)**. *Aquaculture Research*, p. 1-11, 2011.

EMERENCIANO, M.G.C.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. **Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry**. In: *Biomass Now - Cultivation and Utilization*, Dr. Miodrag Darko Matovic (Ed.), ISBN: 978-953-51-1106-1, InTech, 2013.

EMERENCIANO, M.G.C.; MELLO, G.L.; PINHO, S.M.; MOLINARI, D.; BLUM, M.N. **Aquaponia: uma alternativa de diversificação na Aquicultura**. *Panorama da Aquicultura*, v. 25, n. 147, p. 24-35, 2015.

ENDUT, A.; JUSOH, A.; ALI, N.; WAN NIK, W.B.; HASSAN, A. **Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system**. *Desalination and Water Treatment*, n. 5, p. 19– 28, 2010.

FAO Fisheries and Aquaculture Department. **FAO Global Aquaculture Production Volume and Value Statistics Database Updated to 2012**. 2014. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/FI/STAT/Overviews/AquacultureStatistics2012.pdf>>. Acesso em: 05/11/2015

FAO Fisheries and Aquaculture Department. **Yearbook of fishery statistics –World fisheries production, by capture and aquaculture, by country**. 2012.

FERNANDES, J. B. K. **Sistemas de produção de peixes**. Colunas Assinadas. 17/03/2010. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21315&secao=%20Colunas%20Assinadas>. Acesso em: 11/05/2016.

GRABER, A.; JUNGE, R. **Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production**. *Desalination*. v. 246, n. 1, p. 147-156, 2009.

GRAHAM, L.J. **Aquaponics in Alberta: an environmental industry scan**. Business and Innovation Div, AAFRD, Olds, Alberta, 2003.

GÜNER, Y.; ÖZDEN, O.; ÇAĞIRGAN, H.; ALTUNOK, M.; KIZAK, V. **Effects of salinity on the osmoregulatory functions of the gills in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. n. 29(6), p. 1259-1266, 2006.

HARGREAVES, J.A. **Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture**. *Aquacultural engineering*. v. 34, n. 3, p. 344-363, 2006

HARGREAVES, J.A. **Biofloc production systems for aquaculture**. Southern Regional Aquaculture Center, 2013.

HAMLIN, H.J. **Nitrate toxicity in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*)**. *Aquaculture*. n. 253, p. 688–693, 2006.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S.K. **Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics**. Bioresource technology. n. 188, p. 92-98, 2015.

HUTCHINSON, W.; JEFFREY, M.; O'SULLIVAN, D.; CASAMENT, D.; CLARKE, S. **Recirculating Aquaculture Systems: Minimum Standards for Design, Construction and Management**. Inland Aquaculture Association of South Australia Inc., 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. Brasil. 2013, vol n° 41. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf Acesso em: 11/05/2016.

JAAP, V.R. **The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - A review**. Aquaculture. 1995.

LENNARD, W.A.; LEONARD, B.V. **A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system**. Aquaculture International. v. 14, n. 6, p. 539-550, 2006.

LENNARD, W. **Aquaponic System Design Parameters: Fish to Plant Ratios (Feeding Rate Ratios)**. Aquaponic Fact Sheet Series. p.1-12, 2012.

MAICÁ, P.F.; DE BORBA, M.R.; WASIELESKY JR, W. **Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of Litopenaeus vannamei (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system**. Aquaculture Research. n. 43(3), p. 361-370, 2012.

MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L.R.; EMERENCIANO, M.; MIRANDA-BAEZA, A.; MARTÍNEZ-PORCHAS, M. **Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review**. Reviews in Aquaculture. n. 7(2), p. 131-148, 2015.

MOYA, E.A.E.; SAHAGÚN, C.A.A.; CARILLO, J.M.M.; ALPUCHE, P.J.A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, C.A.; MARTÍNEZ-YÁÑEZ, R. **Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system**. Aquaculture Research. 2014.

MPA. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**. Ministério da Pesca e Aquicultura. Panorama geral da Aquicultura no Brasil, Brasília. p. 33, 2011.

NAIR, A.; RAKOCY, J.E.; HARGREAVES, J.A. **Water quality characteristics of a closed recirculating system for tilapia culture and tomato hydroponics**. Second International Conference on Warm Water Aquaculture —Finfish. Proceedings of a conference, HI, pp. 223–254, 1985.

PANTANELLA, E. **Pond aquaponics: new pathways to sustainable integrated aquaculture and agriculture**. Aquaculture News. 2008.

PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J.A.; SOARES, T.M. **Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina**. Horticultura Brasileira. n. 28(1), p. 29-35, 2010.

RAY, A.J.; SEABORN, G.; LEFFLER, J.W.; WILDE, S.B.; LAWSON, A.; BROWDY, C.L. **Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management**. Aquaculture. n. 310(1), p. 130-138, 2010.

RAKOCY, J. E. **An integrated fish and field crop system for arid areas**. Ecological aquaculture: the evolution of the blue revolution, p. 263-285, 2002.

- RAKOCY, J.E.; HARGREAVES, J.A.; BAILEY, D.S. **Nutrient accumulation in a recirculation aquaculture system integrated with vegetable hydroponics.** In: Wang, J.K. (Ed.), *Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of a Conference* Spokane, WA. p. 137–147, 1993.
- RAKOCY, J.E.; BAILEY D.S.; MARTIN, J.M.; SHULTZ, K.A. **Tilapia production systems for the Lesser Antilles and other resource-limited, tropical area.** *Tilapia Aquaculture in the 21st century*, Proceeding from the fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture, Rio De Janeiro—RJ, Brazil, September 3–7. 2000.
- RAKOCY, J.E.; MASSER, M.P.; LOSORDO, T.M. **Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture.** SRAC Publication. p. 454, 2006.
- RAKOCY, J. E. **Ten guidelines for aquaponic systems.** *Aquaponics*, J. v. 1, p. 14-17, 2007.
- RAKOCY, J.E.; BAILEY D.S.; SHULTZ, R.C.; DANAHER, J.J. **A Commercial-Scale Aquaponic System Developed at the University of the Virgin Islands.** *Agricultural Experiment Station* University of the Virgin Islands RR 1, Box 10,000, Kingshill, VI 00850 U.S. 2011.
- RAKOCY, J.E. **Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture.** In: Tidwell, J.H. (Ed.). *Aquaculture Production Systems*. 1. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 343–386, 2012.
- RODRIGUES, L.R.F. **Cultivo pela técnica de hidroponia: técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido.** Jaboticabal: FUNEP, 2002.
- RESH, H.M. **Hydroponic Food Production.** 4th edn. Woodbridge Press Publ., Santa Barbara, CA, pp. 462, 1992.
- ROOSTA, H.R.; HAMIDPOUR, M. **Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems.** *Scientia Horticulturaev.* v 129, n. 3, p. 396-402 , 2011.
- SCHNEIDER, O.; SERETI, V.; EDING, E.H.; VERRETH, J. A. J. **Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems.** *Aquacultural engineering.* n. 32(3), p. 379-401, 2005.
- SOARES, T.M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro.** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- PINHO, S.M. **Aquaponia: aplicação da tecnologia de bioflocos na produção de diferentes cultivares de alface (*Lactuca sativa*).** Trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Pesca, Universidade Estadual de Santa Catarina, Centro de Educação Superior Região Sul, 2015.
- TIMMONS, M.B; EBELING, J.M. **Recirculating aquaculture.** NRAC Publication. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY. n. 401, 975pp, 2010.
- TYSON, R.V., SIMONNE, E.H., WHITE, J.M., LAMB, E.M. **Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels.** In *Proc. Fla. State Hort. Soc.* v. 117, pp. p. 79-83, 2004.
- WELCH, E.B. **Ecological effects of waste water.** Cambridge, Cambridge University Press. 337p, 1980.

ANEXO A – Dispositivos do sistema de aquaponia



SISTEMA ÁGUA DOCE



SISTEMA ÁGUA SALOBRA

ANEXO B – Crescimento das variedades de alfaces em ambos sistemas durante o período experimental



DIA 7



DIA 14



DIA 21



DIA 28

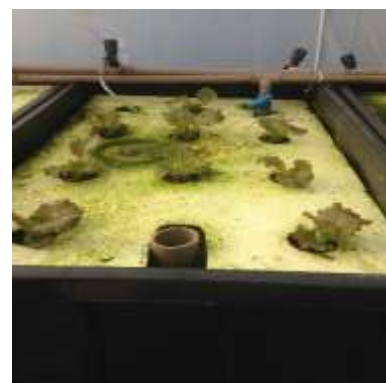


DIA 28 CULTIVO ÁGUA DOCE

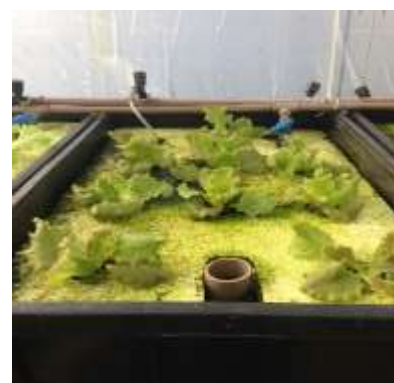
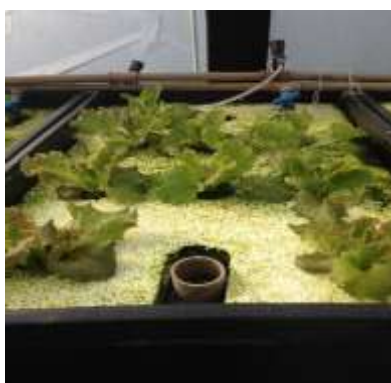
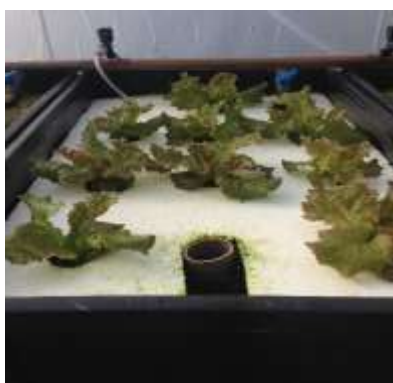


DIA 28 CULTIVO ÁGUA SALOBRA

ANEXO C – Crescimento da variedade Roxa em água salobra



DIA 7



DIA 14

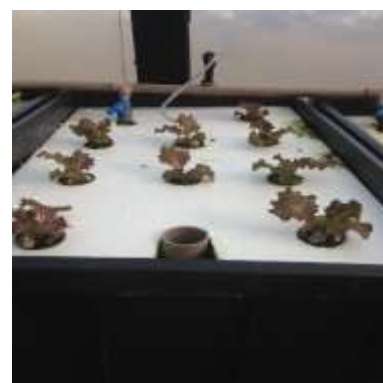
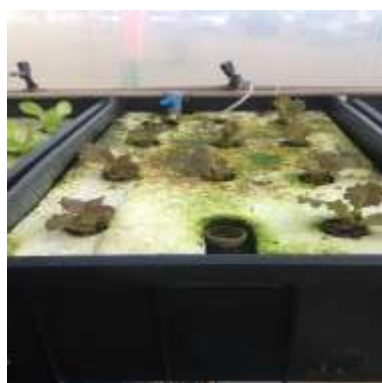


DIA 21

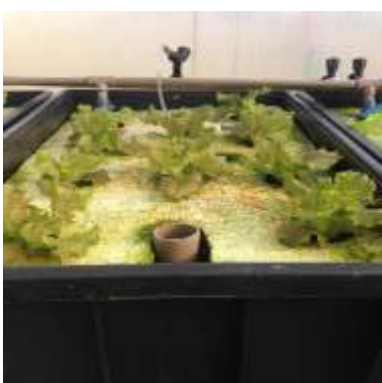


DIA 28

ANEXO D – Crescimento da variedade Roxa em água doce



DIA 7



DIA 14

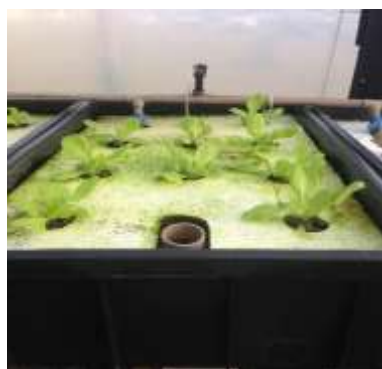


DIA 21



DIA 28

ANEXO E – Crescimento da variedade lisa em água doce



DIA 7



DIA 14

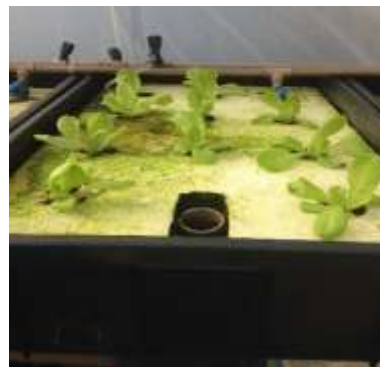
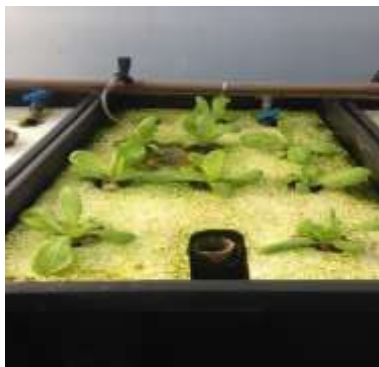


DIA 21



DIA 28

ANEXO F – Crescimento da variedade Lisa em água salgada



DIA 7



DIA 14



DIA 21



DIA 28

ANEXO G – Crescimento da variedade Crespa em água doce



DIA 7



DIA 14



DIA 21



DIA 28

ANEXO H – Crescimento da variedade Crespa em água salgada



DIA 7



DIA 14



DIA 21



DIA 28